

Calidad del agua y tasa de filtración obtenidos con el filtro doméstico de arcilla “tradiFILTRO”

Water quality and filtration rate obtained with household clay filter
“tradiFILTRO”

Dra.C. Sarah Barreto-Torrella^{1*}, <https://orcid.org/0000-0002-2471-7263>

Ing. Raúl Pérez-Marín², <https://orcid.org/0000-0001-8592-0495>

MSc. Yamila Recio-Rodríguez³, <https://orcid.org/0000-0001-7599-2639>

¹Departamento de Ingeniería Química de la Universidad “Ignacio Agramonte Loynaz”, Camagüey, Cuba

² UEB Torrefactora de Café, Ciego de Ávila, Cuba

³ Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA), Camagüey, Cuba

* Autor para la correspondencia. correo electrónico: sara.barreto@reduc.edu.cu

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el funcionamiento del filtro de arcilla doméstico tradiFILTRO, en condiciones de campo, se procesaron estadísticamente datos de muestras de agua de tasa de filtración de las unidades filtrantes, tomados en el Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA), en el proceso de evaluación de la calidad de los filtros. Se encontraron concentraciones de nitratos, nitritos, coliformes totales y *Escherichia coli* en el agua cruda, superiores a las requeridas para fuentes de agua potable. La remoción de la turbidez fue de 97 a 100 %, la reducción \log_{10} de coliformes totales y *E.coli* fueron de 3,26 y 2,72, respectivamente. La tasa de filtración se encontró en el rango de 1,65 – 3 L/h ($\bar{x} = 1,7$ L / h). Se constató un incremento del pH y de los carbonatos, lo cual no pone en riesgo la salud de los consumidores.

Palabras clave: agua potable; filtro doméstico de arcilla; tasa de filtración.

ABSTRACT

To evaluate household clay filter tradiFILTRO performance, under field conditions, samples of water processed by National Enterprise of Analysis and Technical Services of physico chemical characteristic were statistically processed, as well as filtration rate data taken by Integrated Center of Water Technologies in evaluation process of filters quality. Concentrations of nitrates, nitrites, total coliforms and *Escherichia coli* were found in raw water, higher than those required for drinking water sources. The removal of turbidity was 97 - 100%, the \log_{10} reduction of total coliforms and *E. coli* were 3,26 and 2,72 respectively. The filtration rate was found in the range of 1,65 - 3 L / h ($\bar{x} = 1,7$ L / h). An increase in pH and carbonates was found, which does not put the health of consumers at risk.

Keywords: drinking water; household clay filter; filtration rate.

Recibido: 19/11/2019

Aceptado: 20/03/2020

Introducción

En el mundo 1100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento. ⁽¹⁾ La cobertura de agua potable es desigual entre países desarrollados y en vías de desarrollo y entre las zonas urbanas y rurales. En Cuba en el 2010 el 92,7% de la población tenía acceso a agua potable (98,3% del área urbana y 75,7% de la rural), con conexión domiciliaria 75,2% (87,6 y 37,7 % de las áreas urbana y rural, respectivamente), con fácil acceso 12,1%, ⁽²⁾ el 79 % de la población obtiene un suministro intermitente. ⁽³⁾ Gran cantidad de enfermedades son de transmisión hídrica, las más frecuentes son las enfermedades diarreicas agudas (EDA), en el mundo se afectan y mueren muchas personas que las padecen, en el año 2000, la tasa de mortalidad estimada por diarreas relacionadas con la falta de sistemas de saneamiento o de higiene y por otras enfermedades relacionadas con el saneamiento del

agua (esquistosomiasis, tracoma, infecciones intestinales por helmintos) fue de 2 213 000 personas. ⁽¹⁾

En la ciudad de Camagüey el porcentaje del consumo de agua no potabilizada por la población, es superior al 5 %. Un 98,8 % de la población tiene un servicio de abastecimiento discontinuo. La población recurre a distintos tratamientos domésticos en comunidades urbanas de Habana Vieja (Cuba), en el 57,6 % de las viviendas estudiadas el agua es tratada en el hogar, 34,6% la hierven, 6,2% la filtran y 1,2% la cloran. ⁽⁴⁾

Los filtros cerámicos impregnados con plata coloidal, han demostrado que se ajustan a los requisitos de potabilización de agua y a las posibilidades económicas de la población más necesitada. Se ha comprobado su efectividad en Nicaragua, Guatemala, Honduras, Camboya, Vietnam, Indonesia y otros países, durante más de 10 años, en los períodos que se han investigado e implementado ⁽⁵⁾ se estima que existen 35 fábricas de filtros en 18 países cuyas producciones exceden los 40 mil filtros al mes ⁽⁶⁾ algunos modelos con más aceptación que otros. ⁽⁷⁾ Su bajo costo, fácil fabricación, y eficacia en la potabilización muestran su viabilidad para su uso en las zonas rurales que no cuentan con un sistema convencional de tratamiento de agua potable. ^(6,8)

Se elaboran, a partir de una mezcla de aserrín y arcilla, el primero es el material formador de poros; ^(9, 6) se recubren internamente con plata coloidal, que tiene una acción bactericida. ⁽⁶⁾ Se fabrican por lotes y son sometidos, como prueba de calidad, a la determinación de su tasa de filtración. En la actualidad, son muy variables las tasas de filtración que se obtienen y los distintos parámetros de calidad, aspectos estos que se desean mejorar. Se afirma que los procesos en la manufactura de los filtros son inestables entre distintas fábricas y dentro de ellas mismas ⁽⁶⁾, por lo que los parámetros de calidad del agua varían de uno a otro filtro, encontrando un rango para la remoción de *E. coli* entre 0,9 – 6,8 valor logarítmico de reducción. ⁽¹⁰⁾

El Centro Integrado de Tecnologías del Agua desarrolla desde el año 2000, la producción de un filtro, al que ha llamado tradiFILTRO, cuya tecnología de fabricación es artesanal; distintas comunidades de Camagüey se han beneficiado con él, así como, familias campesinas y pobladores de zonas de La Habana, Holguín, Santiago de Cuba y Villa Clara. ⁽¹¹⁾

En este trabajo se evalúa el desempeño del tradiFiltro a partir de la calidad del agua y de la tasa de filtración. Se procesaron datos de valoraciones del contenido del agua, obtenidos

por el laboratorio de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST), y la tasa de filtración disponibles en el Centro Integrado de Tecnologías del agua (CITA) y en filtros seleccionados al azar en condiciones de campo; se determinaron valores promedios, y las variaciones en las características del agua por efecto del tratamiento en el filtro. También se comprobó la potabilidad del agua por el cumplimiento de la norma. ⁽¹²⁾ Esta valoración es importante, para una mayor garantía de la calidad del agua y como punto de partida, para buscar y lograr una mayor uniformidad y calidad del filtro.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Se tomaron datos de análisis físico químicos, de calidad bacteriológica y tasa de filtración del agua, realizados por la ENAST ⁽¹³⁾ y el CITA, respectivamente, los primeros son efectuados para control de su desempeño en condiciones de campo y los segundos para el control de la calidad de los mismos y el descarte de los que superen la tasa de 3 L/h y se determinó la media, y la desviación estándar, empleando el paquete STATGRAPHICS XVI.II ⁽¹⁴⁾ para su procesamiento estadístico. El efecto de remoción de las bacterias fue calculado según Mwabi y Mamba. ⁽⁸⁾

Las características analizadas fueron: sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, pH, carbonato, cloruro, sulfato, calcio, magnesio, sodio, potasio, sólidos suspendidos totales, amonio, nitritos, nitratos, turbidez, coliformes totales y *Escherichia coli* (número más probable NMP/100 mL).

Resultados y discusión

Las unidades filtrantes consisten en una vasija de barro, en forma de cono truncado (ver figura 1), que se coloca en otra contenedora, con tapa y dotada de una válvula; se vierte el agua a tratar en el recipiente de arcilla y se acumula el agua tratada en la segunda, de donde se extrae mediante una válvula. Tiene capacidad para 9,6 L de agua tratada.

La tecnología común para la fabricación de los filtros de cerámica consiste en el pulverizado y tamizado de la materia prima, el mezclado seco y húmedo, el moldeado, el secado, la cocción y el enfriamiento e impregnación con plata coloidal, aunque no siempre se realiza

esto último. Se hacen controles de la tasa de filtración y de las características físico química y sanitaria del agua para su comercialización con una garantía de calidad.

La arcilla empleada para la fabricación del tradiFILTRO proviene del préstamo conocido como “Santa Teresa”, cuyo contenido, en %, es: SiO₂ (50 – 60), Al₂O₃ (14,5 -17), Fe₂O₃ (7,5-9,5), CaO (1,28-11,82), MgO (2-4), Na₂O < 3, K₂O < 3, SO₃ < 0,2⁽¹⁵⁾.

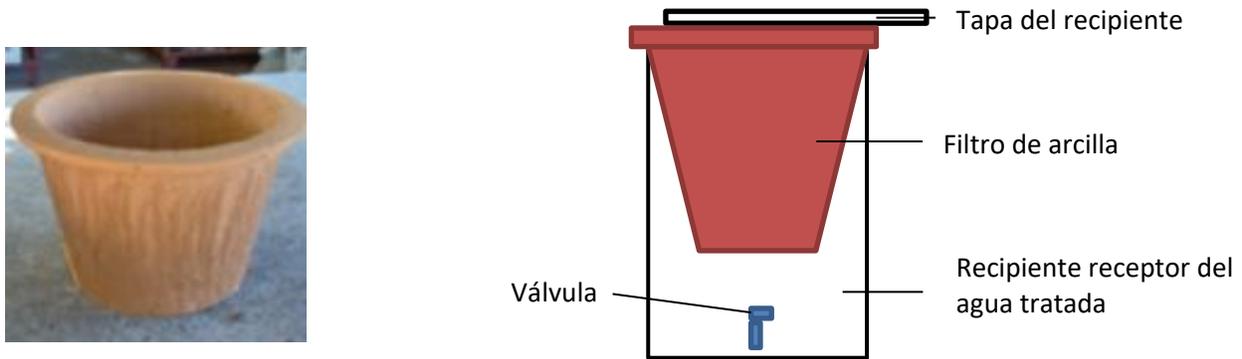


Fig.1- Filtro de agua tradiFILTRO, con estructura de arcilla porosa

Valoración de las tasas de filtración de los filtros evaluados

Según el análisis de frecuencia realizado, los filtros de cerámica, producidos bajo las condiciones actuales, ofrecen una tasa de filtración, en el rango de 1,65 – 3 L/h, el 64,07 % está entre 1,4 y 2,8 (ver figura 2). Se obtuvo una tasa de filtración promedio de 2,71 L · h⁻¹, con un valor mínimo de 1,4 y un máximo de 6,7 (ver tabla 1), la dispersión de estos resultados indica la necesidad de identificar las causas para poder lograr que los filtros producidos tengan tasas menores, entre 1 – 2,5 L/h, como señalan ⁽⁶⁾ siendo preferible la de 1,7 L/h ⁽⁵⁾o la que esté más cerca a este valor, debido a que esos autores demostraron que esto permite, en condiciones de explotación domésticas, obtener una calidad del líquido que cumple con los requisitos de agua potable, para lo cual recomiendan usar una proporción de arcilla: aserrín de 1,5 : 1.

Tabla 1. Resumen de estadísticos para la tasa de filtración (L/ h)

N	\bar{x}	S	Min	Máx
643	2,71	1,121	1,4	6,7

N: es el número de muestras; \bar{x} : es el valor promedio de parámetros determinados; S: Desviación estándar; Min: Valores mínimos; Máx: Valores máximos.

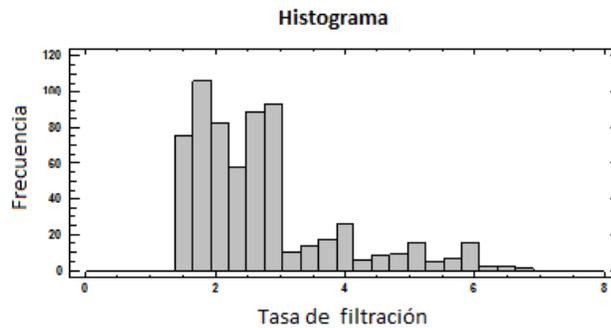


Fig. 2. Gráfico de frecuencias para las tasas de filtración

Las altas tasas de filtración están relacionadas con un mayor tamaño de poros y estos, a su vez, con las características de la arcilla y la proporción de materiales quemantes, respecto a dicho material. Otro factor que influye en la tasa de filtración es el mezclado de las materias primas que se emplean en la construcción del filtro. ⁽⁵⁾

Reducción de coliformes totales y *Escherichia coli* por acción del filtro

La reducción de bacterias coliformes totales y *Escherichia coli* en unidades logarítmicas fue, como promedio, 3,26 (E = 96 %) y 2,71 (E = 93 %) respectivamente (ver tabla 2), los rangos con mayor frecuencia fueron (3,2 – 5,0) y (2,4 – 4,5), siendo este un resultado que pudiera mejorarse tomando como referencia los valores de 0,9 – 6,8 obtenidos por algunos autores⁽¹⁰⁾ y de 2 a 6 por otros. ⁽¹⁶⁾

Tabla 2. Reducción de la contaminación bacteriológica por acción del filtro de arcilla tradiFiltro

	n	\bar{x}	S
Coliformes totales	38	3,26	1,546
<i>Echerichia coli</i>	29	2,72	1,651

Un análisis de varianza simple demostró que existen diferencias significativas entre los distintos filtros con respecto a la disminución de coliformes totales, sin embargo, no ocurre lo mismo respecto a *Escherichia coli*, la fecha de muestreo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la reducción de ambos indicadores con un 95,0% de nivel de confianza (ver tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para la reducción de coliformes por filtros y fecha de muestreo

Factor	Unidades filtrantes	Fecha de muestreo
	Valor-P	
Reducción log de coliformes totales por filtro	0,011	0,000
Reducción log de coliformes fecales por filtro	0,457	0,014

Hay que destacar que las muestras provienen de diversos orígenes, fundamentalmente pozos, que constituyen fuente de abastecimiento de agua de viviendas que, en su mayoría, están contaminados (ver figura 3), todos mostraron niveles altos de coliformes totales y *Escherichia coli*, superiores a 100 NMP/100 mL, es decir, superiores a lo que rige la norma ⁽¹⁷⁾ (ver figura3). Se encontraron valores de coliformes totales, en el agua sin tratar, de hasta $1,6 \cdot 10^6$ expresados en NMP/100 mL, esto condujo a que sólo el 52 % del agua tratada, cumpliera con los parámetros de agua potable, ⁽¹²⁾ lo cual impone que sea una premisa que la calidad de las fuentes cumpla con la norma establecida. ⁽¹⁷⁾

Otros autores han encontrado también contaminación bacteriológica en fuentes domésticas de agua tratadas en este tipo de filtro. ⁽¹⁸⁾ Se han registrado en 71,46 % de las muestras de agua tratada valores inferiores a 10 unidades formadoras de colonias UFC/100 mL, catalogan a dichas aguas de bajo riesgo, ⁽⁶⁾ según una clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), aunque reconocen que las aguas potables deben tener cero. Los autores relacionan la remoción bacteriana en los filtros de arcilla impregnados con plata con dos vías, su retención mecánica, debido a su tamaño y por la acción desinfectante de la plata, afirman que un incremento de la porosidad, en este caso, favorece la remoción de bacterias *E. coli*. Llamam la atención respecto a la contaminación bacteriana que pueda existir en el sistema por déficit de higiene, por ejemplo al usar una vasija contaminada para verter agua en el filtro, también a las tasas de filtración superiores a 2,5 L/h, las cuales pueden ser producto de micro rajaduras en los filtros ⁽¹⁹⁾ y pueden provocar la salida indeseable de microorganismos; además a la formación de biopelículas en el recipiente donde se almacena el agua y al uso de aguas contaminadas para la limpieza.

La presencia de contaminación no es excepción para aguas tratadas en el hogar, ⁽²⁰⁾ reportan presencia de coliformes totales y de quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia* en el agua tratada centralizada, no encontraron presencia de cloro libre residual en algunas muestras; por su parte algunos autores, ⁽⁴⁾ hallaron coliformes termotolerantes que exceden

la norma en el 51,8 % de las muestras y en el 66 % de las viviendas valores de cloro residual inferiores a la normativa.

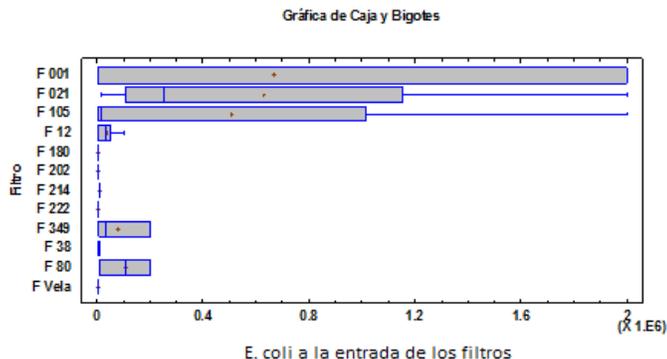


Fig. 3. Contenido de *Escherichia coli*, en el agua de las fuentes sin tratar (entrada a los filtros)

Comportamiento de los indicadores físico químicos a la entrada y a la salida de los filtros y su variación

El contenido de amonio fue cero en todos los casos. Se comprobó que de los 12 pozos evaluados 7 tenían una concentración de nitratos superior a 45 mg/L de su agua sin tratar. En las tablas 4 y 5 se pueden apreciar los incumplimientos con las normas mencionadas, además de los parámetros mencionados, es elevada también la concentración de nitritos del agua sin tratar. Al incumplir con la calidad del agua de las fuentes, en contenidos de nitratos, nitritos y bacteriano, se pone en peligro la salud de las personas que la consumen; los nitratos y nitritos ponen en riesgo mortal a lactantes menores de 6 meses, debido a que se puede presentar metahemoglobinemia. Por tanto, la solución doméstica de la calidad del agua pasa por el control de las fuentes empleadas por la población y su educación sanitaria.

Tabla 4- Número de muestras del agua tratada, por filtros, que incumplen con niveles de parámetros físico químicos establecidos en la norma ⁽¹²⁾

Filtro	Total	pH > 8,5		NO ₃ > 45		NO ₂ > 0,01	
		Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
F 001	4	1	25	3	75	3	75
F 021	6	4	67	0	0	2	33
F 105	6	2	33	4	67	3	50
F 12	5	1	20	3	60	4	80
F 177	1	0	0	0	0		0
F 180	1	0	0	0	0		0
F 202	1	0	0	0	0		0
F 214	1	0	0	0	0		0
F 222	1	0	0	1	100		0
F 349	6	3	50	0	0	2	33
F 38	6	2	33	6	100	5	83
F 80	5	2	40	0	0	2	40
Total	43	15	35	17	40	21	49

Los usuarios prefieren mayores tasas para obtener más producto en menos tiempo, pero las recomendadas, de 1,7 como promedio y 2,5 L/h como máximo permiten obtener en 12 h, 10 y 15 L/d de agua tratada respectivamente, suficiente para garantizar agua para beber a 10 y 15 personas en cada caso, por lo que no se justifica un incremento de la tasa en detrimento de la salud.

La turbidez disminuye en 100 % para los filtros cuando se les hace control de la calidad con el agua del centro que los produce, los resultados para los pozos evaluados se ofrecen en la tabla 6, la eficiencia promedio es de 84 %, la mínima de 75 % y la máxima de 100 %, ⁽²¹⁾ reportaron remociones de 64 a 98 %, por lo que puede asegurarse que los resultados de tadiFILTRO respecto al parámetro mencionado son muy buenos. Las aguas no tenían color y eso no varió. Las características físico químicas del agua, cruda (entrada) y tratada (salida), de siete pozos se muestran en la tabla 5; luego de comprobar la normalidad de la distribución de los datos se procedió a determinar, mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa, en cuál de los parámetros la diferencia entre los de la entrada y la

salida de los filtros resultaba significativa, lo que como se muestra en la tabla 8 sólo ocurre con el pH y la concentración de carbonatos. El pH no incide directamente en la salud, ⁽²²⁾ sino en las características incrustantes o corrosivas del agua. ⁽³⁾

Se le ha atribuido el incremento de algunos aniones a la lixiviación de estos, a partir del material del filtro. ^(21,23) aseguran que el movimiento de los iones a través del suelo arcilloso es controlado por sus gradientes electroquímicos.

Se sabe que la proporción cuantitativa entre CO_2 , $[\text{H}_2\text{CO}_3]$, $[\text{HCO}_3^-]$ y $[\text{CO}_3^{2-}]$ está relacionada con el pH del agua, ^{(24), (25), (26)} en este caso los carbonatos aumentan.

La conductividad eléctrica por debajo de los $700 \mu\text{S}/\text{cm}$ no afecta la salud, pero es un indicador del contenido de sales disueltas en el agua, ⁽²¹⁾ de todas formas, debe cuidarse, al usar este filtro, no tratar aguas con una conductividad eléctrica cercana a $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$, para no superar el contenido de sólidos disueltos totales que se exige, pues ⁽²⁷⁾ asegura que las corrientes que corren a través de áreas con suelos arcillosos tienden a tener alta conductividad debido a la presencia de materiales que se ionizan al ser lavados en el agua. El contenido de sólidos disueltos totales en ningún caso superó el límite máximo fijado por la norma, ⁽¹²⁾ tampoco la dureza total.

Tabla 5- Características físico químicas de aguas, en mg/L, a la entrada (E) y salida (S) de siete filtros

	FILTRO	F 001	F 021	F 105	F 12	F 349	F 38	F 80
Característica	n	4	6	6	5	6	6	5
pH	E	7,71	7,87	7,53	7,77	7,77	7,77	7,95
	S	8,46	8,51	8,34	8,43	8,51	8,50	8,47
CE, μS_{cm}^{-1}	E	655,50	354,17	698,50	923,40	350,50	1062,17	499,00
	S	686,75	380,17	711,67	899,20	370,33	1053,00	503,00
CO₃⁻	E	0,00	0,80	2,33	0,00	1,40	0,00	3,40
	S	8,00	6,20	8,67	14,80	6,00	14,50	9,00
HCO₃⁻	E	261,25	175,67	305,00	397,40	171,00	461,33	251,00
	S	264,50	177,50	290,17	370,20	178,67	443,50	243,50
Cl⁻	E	38,50	21,83	36,33	56,00	21,50	65,67	22,20
	S	42,00	26,00	41,50	60,60	22,83	65,17	23,40
SO₄⁻	E	12,75	4,83	13,33	17,00	5,33	18,83	6,40
	S	11,75	5,17	14,50	15,40	4,00	21,83	6,80
Ca²⁺	E	10,25	13,83	7,17	6,40	24,17	7,83	4,83
	S	13,75	13,67	7,83	11,40	25,67	10,50	5,33
Mg²⁺	E	60,25	22,67	73,83	110,40	22,67	117,00	58,20
	S	65,50	22,83	74,00	106,40	23,17	117,00	58,20
Na⁺	E	24,00	15,00	26,00	25,00	12,00	31,83	12,20
	S	26,25	15,67	26,50	25,00	14,33	33,33	10,00
K⁺	E	0,50	1,67	1,50	0,20	1,67	0,67	0,60
	S	0,75	1,83	1,50	0,40	1,83	0,50	0,60
NO₃⁻	E	61,75	0,83	58,33	58,60	0,67	76,17	24,00
	S	64,00	1,33	62,50	63,40	1,33	81,83	20,60
NO₂⁻	E	0,04	0,02	0,03	0,07	0,01	0,04	0,04
	S	0,04	0,02	0,02	0,13	0,01	0,05	0,03
SDT	E	471,75	270,00	523,83	673,00	261,83	782,67	380,60
	S	496,50	275,33	526,00	665,60	278,00	797,17	373,60

Tabla 6. Efecto de remoción de la turbidez por filtro (%)

FILTRO	F 001	F 021	F 105	F 12	F 349	F 38	F 80
E, %	79	100	77	100	76	75	83

CE: Conductividad eléctrica.

SDT: Sólidos disueltos totales.

E, %: Efecto de remoción.

Tabla 7- Parámetros de calidad del agua con incremento significativo luego del filtrado

Unidades filtrantes	pH	CO_3^{2-}
	Diferencia	Diferencia
F 001	-0, 883	-8, 000
F 021	-0, 598	-5, 400
F 105	-0, 984	-6, 333
F 12	-0, 804	-14, 800
F 349	-0, 497	-4, 600
F 38	-0, 825	-14, 500
F 80	-0, 325	-4, 667

Conclusiones

Los filtros evaluados en condiciones de campo “tradiFILTRO” producidos por el Centro Integrado de Tecnologías del Agua garantizan la reducción de la turbidez con una eficiencia de 97 a 100% y la reducción de coliformes totales y *Escherichia coli* en unidades logarítmicas de 3,26 y 2,71 respectivamente, con lo que puede garantizarse agua potable siempre que la que se trate cumpla los requisitos de la norma. ⁽¹⁷⁾ La tasa de filtración de las unidades filtrantes estudiadas es variable, el valor promedio es de 2,71 L/h.

La calidad del agua obtenida por unidad filtrante es muy variable, sin embargo las variaciones de pH y de *E. coli* en el tratamiento no varía de uno a otro filtro, la fecha de muestreo tiene un efecto estadístico significativo sobre la reducción de coliformes totales y *E. coli*. Existe un incremento significativo del pH y de los carbonatos en el agua tratada.

Referencias bibliográficas

1. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO).unesco.un.org. Agua para todos, agua para la vida. [En línea] 2003. [Citado el: 04 de Enero de 2017.] www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf. 92-303881-5.
2. OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN (ONEI). [En línea] 2014. [Consultado 28 de diciembre de 2018.] <http://www.onei.org.pe/aec2014/02%20Medio%20Ambiente.pdf>.

3. ROMERO, Teresita, LAFARGUE, D; GONZÁLEZ, O; MEDINA, E. Uso de ósmosis inversa en el hotel Breezes Jibacoa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. [en línea]. La Habana: CUJAE, 2015, No 36, pp. 112-125. [Consultado 10 septiembre 2018]. ISSN 1815-591X, RNPS 2066.
4. CONCEPCIÓN ROJAS, Miriam., MOYA MOYA, M.; PALACIO ESTRADA, D.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, I.; CUÉLLAR LUNA, L; GONZÁLEZ CRUZ, R; MALDONADO, G. Evaluación de la calidad sanitaria del agua en comunidades urbanas de Habana Vieja (Cuba). *Hig. Sanid. Ambient.* Universidad de Granada, Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, [en línea]. 2013, **13** (4) pp.1075-1079. [Consultado 10 septiembre 2018]. ISSN1579-1734.
5. LANTAGNE, Daniele; KLARMAN, M.; MAYER, A.; PRESTON; K.; NAPOTNIK, J.; JELLISON, K. Effect of production variables on microbiological removal in locally-produced ceramic filters for household water treatment. *International Journal of Environmental Health*, Taylor & Francis Ltd, [en línea]. 2010, **20** (3), pp171-187. [Consultado 20 diciembre 2018] ISSN 09603123, DOI: 10.1080/09603120903440665.
6. KALLMAN, Erin; OYANEDEL-CRAVER, V.; SMITH, J.A. Ceramic Filters Impregnated with Silver Nanoparticles for Point-of-Use Water Treatment in Rural Guatemala. *Journal of Environmental Engineering: American Society of Civil Engineers*, 2011, **137** (6), pp.407-415. [Consultado 20 diciembre 2018]. ISSN 07339372.
7. PÉREZ-VIDAL, Andrea; DIAZ-GOMEZ, J.; SALAMANCA-ROJAS, K. L. y ROJAS-TORRES, L. Y. Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Rev. Salud Pública* [En línea]. 2016, Vol.18, No.2 [Consultado: 8 enero 2018], pp.275-289. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642016000200011&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0124-0064. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>.
8. MWABI, Jocelyne K.; Mamba, B. B.; Momba, M. N. B. Removal of waterborne bacteria from surface water and groundwater by cost-effective household water treatment systems (HWTS): A sustainable solution for improving water quality in rural communities of Africa. *Water SA: Water SA*. [en línea], 2013, **39** (4) [Consultado: 8 enero 2018], pp445-456. ISSN 03784738 DOI: 10.4314/wsa.v39i4.2. 03784738.

9. YAKUB, Ismaiel, Plappally, A. Leftwich, M., Malatesta, K., Friedman, K.C. and others. Porosity, Flow, and Filtration Characteristics of Frustum-Shaped Ceramic Water Filters. *Journal of Environmental Engineering: American Society of Civil Engineers*, [en línea]. 2013, **139**, [Consultado: 8 enero 2018] pp986-994. ISSN 07339372.
10. SIMONIS, J. J. y BASSON, A. K. Manufacturing a low-cost ceramic water filter and filter system for the elimination of common pathogenic bacteria. *Physics & Chemistry of the Earth - Parts A/B/C*, [en línea]. 2012, **50-52**, [Consultado: 3 diciembre 2018]. pp. 269-276. ISSN: 14747065; DOI: 10.1016/j.pce.2012.05.001.
11. ATIÉNZAR, E. Una verdad para los incrédulos 05 Agosto 2015. [ed.] Adelante.05 de 08 de 2015, pág. Reportajes. www.adelante.cu/index.php/es/a-fondo/60-reportajes/4377-una-verdad-para-los-incredulos.
12. NC 827/2017. Agua potable— Requisitos sanitarios. [ed.] Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización. 11 p.
13. EMPRESA NACIONAL DE ANÁLISIS Y SERVICIOS TÉCNICOS. Registro de informe final de resultados de ensayos. Camagüey : s.n., 2016.
14. STATPOINT TECHNOLOGIES, Inc. Statgraphics Centurion XVI (Version 16.2.04) [Programa de computador]. Warrenton, VA, USA: Virginia, E.U.A , s.n., 2010.
15. GEOMINSAL. Composición química de la arcilla de Santa Teresa. Camagüey, Cuba: s.n., 2013.
16. SALSALI, Hamidreza; McBean, E.; Brunsting, J. Virus removal efficiency of Cambodian ceramic pot water purifiers. *Journal of Water & Health: IWA Publishing*, [en línea]. 2011, **9** (2), [Consultado: 22 noviembre 2018]. pp. 306-311. ISSN 14778920; DOI: 10.2166/wh.2011.087.
17. NC1021. Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (NC), 2014. p. 14. ICS: 13.060; 91.140.60.
18. ABEBE, Lydia Shawel, Smith, J. A., Narkiewicz, S., Oyanedel-Craver, V., Conaway, M., Singo, A., Dillingham, R. Ceramic water filters impregnated with silver nanoparticles as a point-of-use water-treatment intervention for HIV-positive individuals in Limpopo Province, South Africa: a pilot study of technological performance and human health benefits, *Journal of Water & Health: IWA Publishing*,

- [en línea]. 2014, **12** (2) [Consultado: 23 noviembre 2018], pp. 288-300. ISSN 14778920, DOI: 10.2166/wh.2013.185.
19. SOUZA, R. P. A., Motta, F. V.; Carvalho, R. G.; Acchar, W.; Harima, E.; Maribondo, R.; Paskocimas, C. A. OBTAINING CERAMIC FILTER FROM RICE HUSK AND KAOLINITIC CLAY. *Materials Science Forum*, [en línea]. 2014, **802**, [Consultado: 6 octubre 2018]. pp.232-238. ISSN 16629752; DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.802.232.
20. OLIVAS-ENRÍQUEZ, Evangelina., Flores, J. P.; Di Giovanni, G. D.; Corral, B y Osuna, P. Contaminación fecal en agua potable del Valle de Juárez, *Terra Latinoamericana* [en línea]. 2013, **31** (2), pp 135-143, 2013, [Consultado: 6 octubre 2018].pp135-143.http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000300135&lng=es&nrm=iso. ISSN 2395-8030.
21. VARKEY, A. J.; DLAMINI, M. Point-of-use water purification using clay pot water filters and copper mesh. D. 5, s.l.: *Water SA: Water SA* [en línea]. 2012, **38** (5) [Consultado: 25 noviembre 2018]. pp721-726. ISSN 03784738. DOI: 10.4314/wsa.v38i5.10.
22. DEGREMONT. *Notas técnicas sobre problemas del agua*. [trad.] A. A. Vinitsk, L. I. Guiunter, T. A. Kariujin, V. A. Ksenofontov & I. I. Churbanov E. I. Apeltcin. Moscú: s.n., Editorial: Stroyizdat, Moscú, URSS, 1983. p. 915. Vol. II. ISBN: 38.761/6C9.3.
23. JUNGNICHEL, Christian; Smith, D.W. and Fityus, S.G. Coupled Multi-ion Electrodiffusion Analysis for Clay Soils. S.G. 2, *Canadian Geotechnical Journal: Canadian Science Publishing (NRC Research Press)*, 2004, **41** (2), pp287-298. ISSN 1208-6010.
24. DÍAZ-BETANCOURT, R. *Tratamiento de aguas y aguas residuales*. [ed.] P. R. Fonte. La Habana: Félix Varela, 2010. 515 p. ISBN: 978-959-07-1304-0.
25. NORDEL, E. *Tratamiento de agua para la Industria y otros usos*. [trad.] N Marino. 7^{ma}. La Habana: Edición Revolucionaria, 1987a. 318 p I. SNLC: RG 01.10191.9.
26. *Tratamiento de Agua para La Industria y otros usos*. [trad.] N Marino. 7^{ma}. La Habana: Edición Revolucionaria, 1987b. 641 p. II. SNLC: RG 01.10191.9.
27. SPELLMAN, FRANK. R. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. [ed.] Lewis Publishers. s.l.: CRC Press Company, 2003. 669 p. 1-56670-627-0.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Dra.C. Sarah Barreto-Torrella: Diseñó la investigación, gestionó bibliografía, evaluó los resultados y trabajó en la redacción del artículo.

Ing. Raúl Pérez-Marín: Elaboró las bases de datos de las características del agua, procesó estadísticamente la información, analizó los resultados obtenidos. Trabajó en la redacción del artículo.

MSc. Yamila Recio-Rodríguez: Gestionó la evaluación de las características del agua con el laboratorio de la ENAST y los de la tasa de filtración con el CITA.